

Mikroelem-terhelés hatása a búzára karbonátos csernozjom talajon

KÁDÁR IMRE és DAOOD HUSSEIN

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest és
Központi Élelmiszeripari Kutatóintézet, Budapest

Korábban ismertettük a kísérlet anyagát és módszerét, valamint a mikroelem-terhelés hatását a kukorica, sárgarépa, burgonya, borsó, cékla, spenót termesztésre és ásványi összetételére (KÁDÁR et al. 2000, 2000a, 2001a). Jelen munkánkban az alábbi kérdésekre keressük a választ:

1. Hogyan alakul a talaj NH_4 -acetát+EDTA-oldható elemtartalma a terhelés 7. évében? Mely elemeknél jelentkezik gyors leköttetés a talajban?
2. Mely elemek lehetnek fitotoxikusak az őszi búzára? Hogyan változik a növény vegetatív és generatív szerveinek összetétele talajterhelés hatására?
3. Milyen mérvű elemforgalommal jellemezhető a búza szennyeztelen és szennyezett talajon? Miképpen ítéltető meg a fitoremediáció alkalmazhatósága?

A fejlett ipari országokban meglehetősen eltérően ítélik meg azt, hogy mikor szennyezett a talaj, ill. meddig terhelhető. Mindez nehezíti a hatósági tevékenységet és a nemzetközi együttműködést. Az eltérő megítélés miatt távol eső határkoncentrációkat találunk ugyanazon szennyezőre. A kérdés különösen élesen vetődik fel a szennyvíziszapok termőföldön való elhelyezésénél. A szennyvízkezelés során hatékonyan leválasztjuk a szilárd fázist, a kezelt/tisztított szennyvizet pedig a felszíni vizekbe engedjük. A szennyezők az iszapban, a szilárd részekben koncentrálnak (CSATHÓ, 1994; FILEP, 1988; SIMON, 1999).

Cél az egészséges környezet megőrzése és az iszapok gazdaságos elhelyezése, melyek talajjavítók, szerves trágyák és növényi tápelem források. Ha káros anyagokban szegény, „jó” iszapok, akkor N- és P-tartalmuk és a növény igénye jelenthetik a terhelési határt (nitrátkilúgzás, eutrofizációs vízszennyezés elkerülése). Nemzetközi egyezmények tiltják a tengerbe, folyóvizekbe való lerakást, a szigorodó környezeti szabványok a szennyvizek tisztítását előírva növelik a visszamaradó iszapok mennyiségét. A szennyvíziszapok mennyiségének gyors növekedésével számolnak világszerte. A csatornázás, a közműöllő záródása nyomán hazánkban a szennyvíziszapok mennyisége többszöröse lehet a következő évtizedekben (VERMES, 1994; NÉMETH et al., 1993, 1994).

Mindenképpen nőni fog a termőföldön való elhelyezés, főleg ha tisztább, „jó” iszapokkal dolgozhatunk. Mindez növeli az aggodalmakat is társadalmi/politikai oldalról és a szigorú szabályozás és ellenőrzés igényét veti fel. A terheléshez viszonyítva elenyésző a mikroelemek felvétele és a kilúgozás, így a szántott rétegbe kevert iszap véglegesen szennyezett talajt eredményezhet. Esetenként a szerves szennyezők nagyobb veszélyt jelentenek, mint a nehézfémek. Bizonyos koncentráció felett felléphet a toxicitás, a talaj nem képes lekötni, ill. a növény gyökere pufferni a terhelést. A toxicitás érintheti a talajélőlényeket, növényt, állatot, embert. Határértéknek azt a maximális koncentrációt tekintik, ahol még nem lép fel káros hatás (LEHOCZKY et al., 1998, 1998a; LOCH, 1992).

Európában a talajvizsgálatokra építenek. A határértékek tudományos alapját azonban nehéz felfedezni, mert nincsenek megfelelő tartamkísérletek. Az EU 1986-ban irányelveket adott ki az iszapelhelyezés szabályozására. A direktívában háromféle határérték szerepel: iszapra, iszappal kezelt talajra és 10 éves terhelésre. Ezek szigorúbbak az USA EPA előírásainál. Egyes EU országok szabályozása – Anglia kivételével – még szigorúbb. A határértékek tehát az EU-n belül is lényegesen eltérnek, míg az USA-val összevetve nagyságrendi különbségek adódhatnak (MCGRATH et al., 1994; MACHELETT et al., 1996).

A US EPA valójában nem a talajvizsgálatokra épít. A kumulatív terhelés maximumát állapítja meg, melyet tilos túllépni és amelyet a szennyeződési utak elemzése alapján becsültek. Az iszapokra is ad maximum koncentrációkat, melyek a kumulatív terheléssel függnek össze. A kumulatív terhelés 1000 t/ha, tehát 10 t/ha 100 éven át alkalmazva gyakorlatból indul ki. Az EPA szerint nem valószínű a kumulatív/totális terhelés túllépése, ha az iszapot megfelelően alkalmazzák. Rekultiváció során, egyedi esetekben a 10 t/ha többszöröse is kiadható, ám ritkábban. A termőhely élete folyamán nem léphető túl a kumulatív terhelési maximum, azaz ha kimeríti 20 év alatt 50 t/ha adagokkal, utána többet soha nem terhelhető. Szelénből 100 ppm lehet az iszapban (10 t-ban tehát 1 kg), így a 100 év alatt a maximális kumulatív terhelés 100 kg/ha mennyiséget eredményezhet (CHANEY et al., 1997; MCGRATH et al., 1994).

DIEZ (1992) szennyvíziszappal terhelt talajon különböző szántóföldi és kertészeti kultúrák elemfelvételét vizsgálva megállapítja, hogy a kalászosok szemtermése fogyasztásra alkalmas maradhat esetenként akkor is, ha a talajterhelés a határértéket már túllépte. Hasonló következtetésre jutottak KOVÁCS és munkatársai (1993) a szennyezettebb hazai ipari körzetek környékén termett gabonafélék elemzésekor. Mivel a kenyér fogyasztása jelentős a humán táplálkozásban, a búza magtermésének már kismérvű szennyeződése is drasztikusan növelheti a lakosság károsolem-terhelését hosszú távon. A kérdés vizsgálata hazai körülményeink között kiemelt figyelmet érdemel, hisz a rendelkezésre álló adatok hiányosak.

Anyag és módszer

A kísérletben végzett műveletekről és megfigyelésekről az 1. táblázat tájékoztat. A vetés 1996. október 15-én történt Mv-21 fajtával, 65–70 db/fm mennyiséggel 5 cm mélyre. Bonitálást végeztünk állományfejlettségre bokrosodásban, kalászoláskor, virágzásban és éréskor aratás előtt 1–5 skálán. Parcellánként 8–8 fm (1 m²) területről növénymintavételre került sor kalászoláskor, valamint aratáskor a növényi összetétel megállapítása céljából. A 40–50 °C-on történt szárítás után a mintegy 300 db átlagmintát finomra daráltuk és (cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ roncsolást követően) 20–24 elemre analizáltuk, ICP-technikát alkalmazva.

Aratás után parcellánként 20–20 pontminta egyesítésével átlagmintákat képeztünk a szántott rétegből és meghatároztuk az NH₄-acetát + EDTA-oldható elemtartalmakat LAKANEN és ERVIÖ (1971) szerint. Vizsgáltuk a búzamag lutein- és összes-karotinoid-készletét is HPLC detektálással. Az előkészítés során 10 g finomra őrölt magot 70 ml diklóretán-aceton-metanol 2:1:1 keverékével

1. táblázat

**Az őszi búza kísérletben végzett műveletek és megfigyelések, 1996–1997
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)**

(1) Műveletek megnevezése	(2) Időpontja (év, hó, nap)	(3) Megjegyzés
1. Őszi NPK-műtrágyázás	1996. 10. 09.	Parcellánként kézzel
2. Egyirányú szántás	1996. 10. 10.	MTZ-80 + Lajta eke
3. Kombinátorozás	1996. 10. 11.	MTZ-50 + kombinátor
4. Vetés, hengerezés	1996. 10. 15.	MTZ-50 + Lajta vetőgép
5. Állomány sorol	1996. 11. 10.	Az egész kísérletben
6. Kísérlet karózása/kitűzése	1997. 03. 27.	Parcellánként kézzel
7. Bonitálás bokrosodásban	1997. 04. 01.	Parcellánként 1–5 skálán
8. Tavaszi N-műtrágyázás	1997. 04. 02.	Parcellánként kézzel
9. Bonitálás kalászoláskor	1997. 05. 15.	Parcellánként 1–5 skálán
10. Növénymintavétel	1997. 05. 15.	8 fm hajtás parcellánként
11. Bonitálás virágzásban	1997. 06. 05.	Parcellánként 1–5 skálán
12. Bonitálás aratáskor	1997. 07. 24.	Parcellánként 1–5 skálán
13. Növénymintavétel	1997. 07. 24.	4 fm mintakéve parcellánként
14. Aratás, kombájnolás	1997. 07. 24.	12,1 m ² parcellánként
15. Tarlóhántás, hengerezés	1997. 07. 25.	MTZ-50 + tárcsa, henger
16. Mintakéve-feldolgozás	1997. 08. 22.	Parcellánkénti mérések
17. Mintakévek cséplése	1997. 09. 16.	Parcellánként
18. Ezerszem számlálás	1997. 10. 20.	Parcellánként 4–4 ismétlésben

Mv-21 fajta, 65–70 db csíra/fm, 5 cm mélyre vetve

extraháltunk, majd szűrés és az oldószer elpárologtatása után analizáltuk BIACS és DAOOD (1994), valamint BIACS és munkatársai (1998) szerint.

1997-ben mindössze 319 mm csapadék hullott (a legközelebbi állomás Sárbogárd 50 éves átlaga 590 mm). Az október–június havi tenyészidő alatti csapadékösszeg 211 mm-t tett ki, mely fele volt a sokévi átlagnak. Az I. negyedév téli hónapjai összesen 21 mm, az április 8, május 53, június 60, július hónap 50 mm csapadékot szolgáltatott. A kedvező május–június–július havi csapadékeloszlásnak köszönhetően 1997-ben kielégítő, 7 t/ha körüli szemterméseket kaptunk. Az 1995–2000. években mért havi, negyedéves, éves és a tenyészidő alatti csapadékösszegeket előző munkánk közli részletesen (KÁDÁR et al., 2001a).

Kísérleti eredmények

A mikroelem-terhelés hatása a talajra 1997-ben

A kezelések hatását a szántott réteg NH_4 -acetát+EDTA-oldható elemkészletére a 2. táblázat foglalja össze. Szennyezetlen talajon a Cr-, Mo-, Hg-, Se-, As- és Cd-tartalom 0,1 mg/kg körül vagy alatt maradt. Amennyiben a maximális 810 kg/ha (azaz 270 mg/kg) terhelés hatását vizsgáljuk megállapítható, hogy a 7 évvel ezelőtt bevitt króm 0,5, molibdén 3, higany 8, szelén 13, arzén 16, ill. kadmium 70 %-a maradt könnyen oldható formában. Az egyéb vizsgált elemeknél ez a visszamérési/visszanyerési % az alábbiak szerint alakult: Ba 11 %, Ni 18 %, Sr 36 %, Cu 48 %, Zn 52 % és Pb 68 %.

Az e módszerrel meghatározott oldhatóság a talajban tehát elemenként akár két nagyságrenddel is eltérhet. Két fontos talajszennyező, a kadmium és ólom viszont jól visszamérhető, azaz a talajok szennyezése utólag megállapítható. Kérdés, vajon ez az oldható frakció milyen korrelációt mutat a növényi felvétellel? Ami az egyéb elemeket illeti, a réz és cink (mint gyakori szennyezők), mintegy 50 %-ban szintén kimutathatók voltak oldható formában. A Cr(VI) formában adott króm nagyobb része oldhatatlan Cr(III) formává alakult, részben pedig a szántott réteg alá mosódott vizsgálataink szerint (KÁDÁR & PROKISCH, 2000).

Pontos elemmérlegeket nem állíthatunk fel. A növényi felvételek jól nyomon követhetők, azonban az egyéb veszteségforrások nehezen becsülhetők. A LAKANEN és ERVIÖ (1971) által kidolgozott NH_4 -acetát + EDTA-kioldás első-sorban a talajoldat és a kolloidokon adszorbeált kicserélhető készlet kimutatására alkalmas. Természetszerűen nem jelezheti az egyéb nehezen oldható, ill. kötött formák (oldhatatlan humuszvegyületek, szilikátok vagy elsődleges ásványok szerkezeti elemeiben megkötött) mennyiségét. A kilúgzás főként az anion formákat érintheti ezen a jól szellőzött meszes talajon: arzenát, kromát, molibdenát, szelenát. A kilúgozódó elemek kvantitatív megítélése precíz mintavétel-

2. táblázat

**Mikroelem-terhelések hatása a szántott réteg könnyen oldható elemtartalmára
(NH₄-acetát+EDTA kioldás, mg/kg 1997-ben)
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)**

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
As	0	3	11	42	3	14
Ba	25	25	38	56	14	36
Cd	0	27	85	190	15	76
Cr	0	0,4	0,8	1,4	1	0,4
Cu	3	19	54	133	12	52
Hg	0	0	3	23	4	7
Mo	0	2	5	8	2	4
Ni	3	17	27	52	8	25
Pb	4	33	101	188	18	82
Se	0	2	9	36	6	12
Sr	34	50	63	132	14	70
Zn	3	22	53	143	13	55

Szennyezetlen talajon az alábbi átlagos elemkoncentrációkat mértük:

As, Hg, Mo, Se, Cd, Cr: 0,1; Co, B, Zn: 1,5–2,8; Cu, Ni, Pb: 3–4; Ba, Na, S, Sr: 15–35; Al és Fe: 60–80; P₂O₅ és K₂O: 180–200; Mg és Mn: 350–400; Ca 14000 mg/kg légszáraz anyagban.

lel és az oldhatóbb frakciók vizsgálatával megvalósítható. Fennállhat egyes elemeknél (Se, Hg stb.) az elillanás, metiláció jelensége is, amelyet nem tudunk nyomon követni.

Mikroelem-terhelés hatása a búza fejlődésére, termésére és minőségére

A 3. táblázatban közölt adatok szerint négy elem gátolta a búza fejlődését. A bonitálási eredmények arra utalnak, hogy az arzén által okozott mérgezés idővel mérséklődött. Ezzel szemben a 270 ill. 810 kg/ha Se-terhelésű parcellákon a növények már a korai stádiumban részben kipusztultak. A kadmium és króm esetén csak a maximális terhelés gátolta bizonyíthatóan a fejlődést.

Kalászás idején a föld feletti hajtás 4–5 t/ha légszáraz anyag tömeget adott szennyezetlen talajon, mely a bonitálási (vizuális) eredményekkel összhangban jelezte a termés csökkenéseket. Aratás idején a 6 t/ha körüli szalma-, ill. a 7 t/ha körüli szemtermést az As-, Cr- és Se-túlsúly mérsékelte igazolhatóan. A nagyobb Se-terhelés eredményeképpen már értékelhető szalma- és szemhozamokat nem kaptunk (3. táblázat).

3. táblázat
Terméscsökkenést okozó kezelések hatása a búzára 1997-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
A. Bonitálás ápr. 1-jén bokrosodásban						
As	4,5	4,5	3,5	1,5	1,7	3,5
Cd	4,0	4,0	3,5	2,0		3,4
Cr	4,0	4,0	4,5	3,5		4,0
Se	4,0	3,5	1,0	1,0		2,4
B. Bonitálás máj.. 15-én kalászoskór						
As	4,5	4,5	3,5	1,5	1,5	3,5
Cd	4,5	4,5	3,0	3,0		3,8
Cr	4,5	4,0	3,5	3,0		3,8
Se	5,0	3,0	1,0	1,0		2,5
C. Bonitálás jún. 25-én virágzásban						
As	5,0	4,5	4,0	2,5	1,5	4,0
Cd	5,0	5,0	4,0	3,0		4,3
Cr	5,0	5,0	4,0	3,0		4,3
Se	4,5	3,5	1,0	1,0		2,5
D. Bonitálás júl. 24-én aratáskór						
As	5,0	5,0	4,5	2,5	1,5	4,3
Cd	5,0	5,0	4,5	2,5		4,3
Cr	5,0	4,0	3,5	2,5		3,8
Se	5,0	3,5	1,0	1,0		2,6
E. Hajtás, t/ha máj. 15-én kalászoskór						
As	4,7	4,3	4,1	0,9	1,4	3,5
Cd	4,0	4,4	3,2	2,3		3,5
Cr	4,3	4,7	4,0	3,4		4,1
Se	4,9	4,5	0,8	0,0		2,6
F. Szalma, t/ha júl. 24-én aratáskór						
As	6,3	5,9	5,7	3,0	1,5	5,2
Cd	6,1	5,8	4,7	4,4		5,3
Cr	5,8	5,8	5,1	3,8		5,1
Se	6,3	5,9	0,7	0,0		3,2
G. Szem, t/ha júl. 24-én aratáskór						
As	7.0	7.2	6.8	4.4	1.6	6.4
Cd	7.2	7.3	6.4	5.4		6.6
Cr	7.3	7.1	6.2	5.5		6.5
Se	7.5	6.4	0.5	0.0		3.6

Bonitálás: 1 = gyengén fejlett, pusztuló állomány; 5 = igen jól fejlett állomány

A zsírban oldódó E-vitamin (tokoferol) és származékai, valamint a lutein, ill. összes karotinoid mennyiségéről a 4. táblázat adatai tájékoztatnak a búza magjában. Megállapítható, hogy ezen a cinkkel gyengén ellátott talajon a Zn-trágyázás minden vizsgált jellemző koncentrációját tendenciájában vagy statisztikai-

4. táblázat

**Terméscsökkenést okozó kezelések hatása a búzamag minőségére 1997-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsők)**

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
A. α - tokoferol, mg/kg (E-vitamin, zsírban oldódó)						
As	3,5	3,3	3,1	3,2	0,9	3,3
Cd	3,7	4,7	2,6	2,8		3,4
Se	3,6	4,7	-	-		4,2
Zn	3,9	5,2	5,1	5,0		4,8
B. β - tokoferol, mg/kg						
As	2,1	2,0	1,7	1,9	0,4	1,9
Cd	2,4	2,3	2,2	1,9		2,2
Se	2,1	1,8	-	-		1,9
Zn	2,2	2,9	2,5	2,5		2,5
C. α - tokotrienol, mg/kg						
As	1,5	1,1	0,9	1,1	0,4	1,1
Cd	1,5	1,5	1,0	1,0		1,2
Se	1,3	1,6	-	-		1,5
Zn	1,3	2,1	1,8	1,7		1,7
D. β - tokotrienol, mg/kg						
As	7,3	8,2	6,4	7,0	1,8	7,2
Cd	8,4	9,1	7,9	7,3		8,2
Se	7,0	5,3	-	-		6,1
Zn	8,5	10,3	10,1	9,8		9,6
E. Lutein, mg/kg						
As	1,1	1,2	1,2	1,7	0,2	1,3
Cd	1,2	1,2	1,2	1,1		1,2
Se	1,2	0,9	0,8	-		1,0
Zn	1,1	1,3	1,3	1,3		1,3
F. Összes karotinoid, mg/kg						
As	1,4	1,5	1,6	1,7	0,2	1,6
Cd	1,5	1,5	1,5	1,4		1,5
Cr	1,5	1,6	1,5	1,5		1,5
Se	1,6	1,2	0,8	-		1,2

Megjegyzés: - A növényzet kipusztult

lag is igazolhatóan növelte. A Cd-terhelés ezzel szemben ellentétes hatást gyakorolt, a búzamazag minőségét rontotta.

Az arzén elsősorban az α -tokotrienol képződését mérsékelte a lutein egyidejű növelése mellett. A Se-mérgezéssel mérsékeltén emelkedett az E-vitamin, valamint csökkent a β -tokotrienol és a lutein mennyisége. A Cr-terhelés nem volt hatással a minőségre, az eredmények közlésétől eltekintünk. Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy az egyes mikroelemek túlsúlya (a szennyezés) nemcsak a termés mennyiségét változtathatja meg, hanem érdemi befolyást gyakorolhat a termék minőségére is.

A búzamazag szegény karotinoidokban, az összes karotinoidok mennyisége 2 mg/kg alatt maradt. A nagyobb As-terhelés nyomán igazolhatóan nőtt, míg a Se-terheléssel felére csökkent az összes-karotinoid-készlet. Megemlítjük, hogy ugyanebben a kísérletben 1992-ben a sárgarépa gyökerében, valamint 1996-ban a spenót levelében két nagyságrenddel nagyobb karotinoid-tartalmakat mértünk friss anyagban. Az As-terhelés nem volt hatással a sárgarépára, míg a Se által kiváltott mérgezés mérsékeltén, de igazolhatóan növelte a karotinoidok koncentrációját. A spenót levelének lutein- és β -karotin-tartalmára az arzén depresszív, míg a szelén kifejezett stimulatív hatást gyakorolt (KÁDÁR et al., 2000a, 2001b).

Mikroelem-terhelés hatása a búza ásványi összetételére

A 8/1985. (X.21.) EüM rendelet lisztben, gabonaőrleményben maximálisan 0,02 Hg- 0,1 As- és Cd-, 0,5 Pb-, 5 Cu-, ill. 30 mg/kg Zn-koncentrációt engedélyez. A 4/1990. (II.28.) MÉM rendelet takarmányban 0,1 Hg-, 0,5 Cd-, 2 As-, ill. 5 mg/kg Pb-tartalmat tart elfogadhatónak. Az egyes állatfajok tűrőképessége jelentősen eltérhet. Így pl. a juhok számára az egészségügyi maximum az abrakban 25, míg a csirkére 300 mg/kg a réz, ill. 300 és 1000 mg/kg a cink esetében (CHANEY, 1982). A német irodalomban az alábbi határkoncentrációk elfogadottak mg/kg száraz takarmányban: Cd 0,5, Hg és Tl 1, Se 2–5, Co, Mo, Pb, V 10, Cu 25–30, As, Cr, Ni 50, B 150, Zn 300, Mn 400 (SAUERBECK, 1985; BRAUER, 1998).

Az As-felvétel gátolt ezen a meszes talajon, a hajtás és a szalma As-tartalma még az extrém terhelésnél is a 2 mg/kg határérték körül vagy alatt marad. A mag As-koncentrációja a 0,1 mg/kg limitet meghaladta a nagyobb terhelés esetén. Általában minden vizsgált elemnél megfigyelhető, hogy legkevésbé a mag dúsul, mely genetikailag védett. A legnagyobb koncentrációkat – a króm kivételével – a fiatal hajtás mutatott. A bárium és réz mérsékelt felvételt jelzett, átlagosan megkétszereződött a növényi szervekben (5. táblázat).

A higany szennyezett talajon is a 0,1 mg/kg kimutathatósági szint alatt maradt minden növényi részben. Hasonlóképpen a króm a magtermésben. Összeségében a Hg, Cr és a Cu általi terhelés nem okozott olyan káros elemfelvételt a

5. táblázat

Kezelések hatása a légszáraz búza elemtartalmára 1997-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
A. As-terhelés hatására, mg As/kg						
a) Hajtás ¹	0,0	0,7	1,2	2,1	0,4	1,0
b) Szalma ²	0,0	0,3	1,5	1,9	0,3	0,9
c) Szem ²	0,0	0,0	0,2	0,4	0,2	0,2
B. Ba-terhelés hatására, mg Ba/kg						
a) Hajtás ¹	17,0	25,2	26,6	35,4	7,0	26,0
b) Szalma ²	19,0	20,4	26,5	29,9	2,1	24,0
c) Szem ²	2,0	3,7	4,0	5,4	0,8	3,8
C. Cd-terhelés hatására, mg Cd/kg						
a) Hajtás ¹	0,1	7,0	8,8	9,9	1,6	6,4
b) Szalma ²	0,1	3,3	4,1	5,6	1,0	3,3
c) Szem ²	0,0	2,6	3,4	4,2	1,0	2,6
D. Cr-terhelés hatására, mg Cr/kg						
a) Hajtás ¹	0,2	0,3	0,5	1,2	0,2	0,6
b) Szalma ²	0,0	0,6	1,7	4,2	0,6	1,6
c) Szem ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. Cu-terhelés hatására, mg Cu/kg						
a) Hajtás ¹	5,6	7,6	9,5	11,2	2,2	8,5
b) Szalma ²	1,9	2,2	3,5	3,4	1,2	2,8
c) Szem ²	3,0	4,2	5,0	5,3	1,4	4,4
F. Hg-terhelés hatására, mg Hg/kg						
a) Hajtás ¹	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
b) Szalma ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
c) Szem ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G. Mo-terhelés hatására, mg Mo/kg						
a) Hajtás ¹	1,0	166	296	437	82	225
b) Szalma ²	0,4	46	84	126	38	64
c) Szem ²	0,5	22	36	48	19	27
H. Ni-terhelés hatására, mg Ni/kg						
a) Hajtás ¹	0,4	1,2	2,0	3,0	0,8	1,6
b) Szalma ²	0,1	0,4	0,5	0,7	0,3	0,4
c) Szem ²	0,6	1,0	1,1	2,1	0,4	1,2

5. táblázat folytatása

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
I. Pb-terhelés hatására, mg Pb/kg						
a) Hajtás ¹	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
b) Szalma ²	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2
c) Szem ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
J. Se-terhelés hatására, mg Se/kg						
a) Hajtás ¹	0,1	357	1146	-	220	501
b) Szalma ²	0,8	80	778	-	66	286
c) Szem ²	0,1	103	164	-	88	89
K. Sr-terhelés hatására, mg Sr/kg						
a) Hajtás ¹	28	38	64	91	10	55
b) Szalma ²	18	22	26	50	5	29
c) Szem ²	2	4	5	9	3	5
L. Zn-terhelés hatására, mg Zn/kg						
a) Hajtás ¹	11	26	42	61	12	35
b) Szalma ²	4	7	10	22	4	11
c) Szem ²	10	24	27	35	8	24

Megjegyzés: ¹ Hajtás máj. 15-én; ² Aratáskor júl. 24-én; - Növényzet kipusztult
 Határérték lisztben: Hg 0,02, As és Cd 0,1, Cu 5, Pb 0,5, Zn 30; Takarmányban: Hg 0,1, Cd 0,5, As 2, Cu 25, Cr 50, Se 2–5, Mo és Pb 10, Ni 50, Zn 300 mg/kg sz.a.

búzában, mely állati vagy emberi fogyasztásra alkalmatlan terméket eredményezett volna. A Cd-dúsulás azonban aggodalomra adhat okot, hiszen már a mérsékelt 90 kg/ha terhelés nyomán az egészségügyi határértéket átlagosan egy nagyságrenddel lépték túl a vizsgált növényi termékek. Egyes becslések szerint a humán Cd-terhelés 50 %-át is elérheti a kenyérfogyasztással szervezetbe jutó kadmium (BRAUER, 1988), a búza ilyenén vizsgálata tehát kiemelt figyelmet érdemel.

Az 5. táblázatban összefoglalt eredmények szerint hiperakkumulációt mutatott a molibdén és a szelén. A Mo-dúsulás a növényi részekben 2, míg a Se-dúsulás a 3–4 nagyságrendet érte el. A növényi termékek már a 90 kg/ha terhelésnél erősen szennyezetté váltak. A Sr- és Zn-koncentráció néhány szorosára emelkedett az erősebben terhelt parcellákon, mindez azonban összességében nem, vagy alig veszélyeztette a termés minőségét. A Ni- és Pb-felvétel elenyésző maradt, a termések érdemben nem szennyeződtek.

Mikroelem-terhelés hatása a búza átlagos, fajlagos és maximális elemfelvételére

A kalászoláskori hajtásban a S- és Mn-koncentráció emelkedett, míg a cink és réz némileg alacsonyabb koncentrációkat jelzett, mint a hazai szaktanácsadásán megadott optimum (ELEK & KÁDÁR, 1980). A meszes vályog talaj Zn- és Cu-kínálata mérsékelt, erre a korábbi kukorica kísérletünk adatai is utaltak (KÁDÁR et al., 2000). A szalma levelei július folyamán leszáradtak, így elvesztette tápelemkészletének jelentős részét és a hajtáshoz viszonyítva elszegényedett. A szemben dúsult a N, P, S, Mg, Mn, Zn, Cu és Ni elem aratáskor, aláhúзва esszenciális jellegüket (6. táblázat).

6. táblázat

**A légszáraz búza elemtartalma szennyezetlen talajon 1997-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsők)**

(1) Elem jele	(2) Mérték- egység	(3) Hajtás máj. 15-én	(4) Szalma	(5) Szem
			júl. 24-én	
N	%	2,20	1,70	2,00
K	%	3,42	0,33	0,30
P	%	0,30	0,06	0,32
Ca	%	0,54	0,22	0,04
S	%	0,26	0,09	0,17
Mg	%	0,20	0,11	0,15
Mn	mg/kg	180	40	90
Fe	mg/kg	144	150	30
Na	mg/kg	80	33	0
Al	mg/kg	60	50	3
Sr	mg/kg	28	18	2
Ba	mg/kg	17	19	2
Zn	mg/kg	11	4	10
B	mg/kg	6,5	2,2	0,1
Cu	mg/kg	5,6	1,9	3,0
Mo	mg/kg	1,0	0,4	0,5
Ni	mg/kg	0,4	0,1	0,6
Se	mg/kg	0,1	0,8	0,1
Cd	mg/kg	0,1	0,1	0,0

Megjegyzés: Hajtás optimuma kalászhányáskor N 1,75–2,25; K 2,00–3,50; Ca 0,25–1,00; P 0,20–0,25; Mg 0,15–0,25; S 0,10–0,14 %; Fe 21–200; Mn 16–28; Zn 15–25; Cu 5–10; B 2–10 mg/kg sz.a.

7. táblázat

**A búza átlagos és fajlagos (1 t szem és a hozzá tartozó melléktermés)
elemfelvétele szennyezetlen talajon 1997-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)**

(1) Elem	(2) Hajtás	(3) Szalma	(4) Szem	(5) Szalma+szem	(6) Fajlagos elemfelvétel
K kg	154	20	22	42	6
N kg	99	105	144	249	35
Ca kg	24	14	3	17	2
S kg	12	6	12	18	3
P kg	14	4	23	27	4
Mg kg	9	7	11	18	3
Mn g	810	248	648	896	124
Fe g	648	930	216	1146	159
Na g	360	205	0	205	28
Al g	270	310	22	332	46
Sr g	126	112	14	126	18
Ba g	77	118	14	132	18
Zn g	50	25	72	97	13
B g	29	14	1	15	2
Cu g	25	12	22	34	5
Mo g	5	3	8	11	2
Ni g	2	1	4	5	1
Se g	0.5	7	1	8	1
Cd g	0.5	1	0	1	0.1

Amint a 7. táblázatban látható, a hajtás K-készlete május 15-én 154 kg káliumot tett ki, mely betakarítás idejére kevesebb mint 1/3-ára zuhant. Csökkent a felvett Ca-, Na- és B-mennyiség is. Mintegy megduplázódott viszont a N-, P-, Mg-, Fe-, Zn-, Mo-, Ni-, ill. nagyságrenddel nőtt meg a szalma+szem Se-készlete. A fajlagos (1 t szem + a hozzá tartozó melléktermés) elemigénye 35 kg N, 6 kg K (7,2 kg K₂O), 4 kg P (9–10 kg P₂O₅), 2 kg Ca (3 kg CaO), 3 kg Mg (5 kg MgO) mennyiségnek adódott. A hazai szaktanácsadásban a 27 kg N, 11 kg P₂O₅, 18 kg K₂O, 6 kg CaO, 2 kg MgO az elfogadott. Saját kísérletünkben a fajlagos N- és Mg-tartalom emelkedett, míg a K- és Ca-tartalom csökkent. Hasonló évfáratban tehát a fajlagos elemigény drasztikusan módosulhat.

Szennyezett talajon a maximális elemfelvétel a kalászoláskori hajtással 1 g Pb-, 4–5 g Cr- és As-, 14 g Ni-, 23 g Cd-, 50 g Cu-, 159 g Ba-, 275–300 g Zn- és Al-, 400 g Sr-, valamint 1,5–2,0 kg Se- és Mo-mennyiséget ért el. Ez a felvett

mennyiség a szelén és molibdén esetében (a lehullott levélzettel) aratásig drasztikusan lecsökkent, míg az egyéb vizsgált elemek készlete kevésbé változott (Al, Sr) vagy emelkedett (As, Pb, Ni, Cr, Cu, Ba, Cd, Zn). Adatainkat a 8. táblázatban tekinthetjük át. Az erősen szennyezett talajok tisztítása fitoremediációval nem járható út, hiszen még a hiperakkumulációt mutató szelén és molibdén esetében is 3–4 évszázadra volna szükség a 810 kg/ha szennyezés eltüntetéséhez hasonló körülmények között.

8. táblázat

A búza maximális mikroelem-felvétele szennyezett talajon (g/ha 1997-ben)
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele	(2) Hajtás máj. 15-én	(3) Szalma	(4) Szem	(5) Szalma+szem
		júl. 24-én		
As	5	6	2	8
Pb	1	2	0	2
Ni	14	4	15	19
Hg	0	0	0	0
Cr	4	16	0	16
Cu	50	21	38	59
Ba	159	185	39	224
Cd	23	25	23	48
Zn	275	136	252	388
Al	300	310	24	334
Sr	410	310	65	375
Se	1606	545	659	1204
Mo	1967	781	346	1127

Összefoglalás

Löszön képződött vályog mechanikai összetételű karbonátos csernozjom talajon, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet Nagyhörcsöki Kísérleti Telepén szabadföldi kisparcellás mikroelem-terhelési kísérletet állítottunk be 1991 tavaszán. A termőhely talajának szántott rétege mintegy 5 % CaCO_3 -ot és 3 % humuszt tartalmazott, felvehető tápelemekkel való ellátottsága: Ca, Mg, Mn, Cu kielégítő, N és K közepes, P és Zn gyenge volt. A talajvíz 15 m mélyen helyezkedik el, a terület vízmérlege negatív, aszályra hajló. A 13 vizsgált mikroelem sóit 4–4 szinten alkalmaztuk 1991 tavaszán, a kukorica vetése előtt. A $13 \times 4 = 52$ kezelést 2 ismétlésben állítottuk be, összesen 104 parcellán, split-

plot elrendezésben. A terhelési szintek 0, 90, 270, 810 kg/ha mennyiséget jelentettek elemenként AlCl_3 , NaAsO_2 , BaCl_2 , CdSO_4 , K_2CrO_4 , CuSO_4 , HgCl_2 , $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, NiSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 , SrSO_4 , és ZnSO_4 formájában. A 100–100–100 kg/ha N– P_2O_5 – K_2O alaptrágyázás egységesen történt az egész kísérletben ammonitrát-, szuperfoszfát- és kálisóműtrágyákkal. A növényi sorrend kukorica, sárgarépa, burgonya, borsó, cékla, spenót volt. A 7. évben végzett búza kísérletünk eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

- A 7 évvel ezelőtt bevitt Cr 0,5, Mo 3, Hg 8, Ba 11, Se 13, As 16, Ni 18, Sr 36, Cu 48, Zn 52, Pb 68 és a Cd 70 %-a maradt NH_4 -acetát+EDTA-oldható formában a talaj szántott rétegében. Két fontos talajszennyező (Pb és Cd) esetén a terhelést jól jelezte a talajvizsgálat, azaz a talajok szennyezése utólag becsülhető volt.

- Fitotoxikusnak a maximális adagú As-, Cd-, Cr- és Se-kezelés bizonyult. Az arzén által okozott mérgezés idővel mérséklődött, míg a 270 és 810 kg/ha Se-terhelésnél a búza már a kelés után pusztulásnak indult.

- Ezen a cinkkel gyengén ellátott talajon a Zn-trágyázás minden vizsgált minőségi jellemző mennyiségét igazolhatóan vagy tendenciájában növelte a búzamagban. A kadmium ezzel szemben ellentétes hatást gyakorolt, a minőséget rontotta. A búzamag szegény karotinoidokban. Az As-terheléssel igazolhatóan nőtt, míg a Se-terheléssel felére csökkent az összes karotinoidok mennyisége.

- Maximális koncentrációkat általában minden elemnél a kalászoláskori hajtás mutatott. A magtermésben a dúsulás mérsékeltebb maradt, a mag genetikailag védett a káros elemek felvételével szemben. A Hg, Cr, Cu és Ba általi szennyezés nem veszélyeztette a búza minőségét, emberi vagy állati fogyasztásra való alkalmasságát. A higany a 0,1 mg/kg kimutathatósági határ alatt maradt a növényi részekben, a króm pedig a magtermésben. A réz és bárium is mérsékelten dúsult, átlagosan megkétszereződött a búza szerveiben. A Ni- és Pb-felvétel elenyésző maradt, a növény nem szennyeződött. A Sr- és Zn-koncentráció néhány szorosára emelkedett a növekvő terheléssel, mindez azonban nem, vagy alig veszélyeztette a búza minőségét.

- A Cd-dúsulás már a 90 kg/ha terhelésnél egy nagyságrenddel lépte túl az egészségügyi határértéket és aggodalomra adhat okot. A Mo 2, a Se 3–4 nagyságrendi akkumulációt mutatott és a növényi termékek extrém módon szennyezetté váltak. A molibdenát és a szelenát anionformák felvehetők maradhatnak ezen a jól szellőzőt meszes talajon és hiperakkumulációt eredményezhetnek.

- A fajlagos (1 t szem + melléktermés) elemigény 35 kg N-, 7–8 kg K_2O -, 9–10 kg P_2O_5 -, 2 kg Ca-, 3 kg Mg-mennyiségnek adódott aratáskor, amikor is a búza levelei leszáradtak és lehullottak, így főként a fajlagos K-tartalma csökkent.

- A kalászoláskori hajtás maximális elemfelvétele szennyezett talajon az alábbi mennyiségeket érte el: 1 g Pb, 4–5 g Cr és As, 14 g Ni, 23 g Cd, 50 g Cu, 160 g Ba, 300 g Zn és Al, 400 g Sr, valamint 1,5–2,0 kg Se és Mo. A fito-

remediáció nem járható út az erősen szennyezett talajok tisztítására, hiszen hasonló körülmények között még a hiperakkumulációt mutató molibdén és szelén esetében is 3–4 évszázadra volna szükség a 810 kg/ha terhelés felszámolásához.

Irodalom

- BIACS, P. A. & DAOOD, H. G., 1994. High-performance liquid chromatography with photodiode-array detection of carotenoids and carotenoid esters in fruits and vegetables. *J. Plant Physiol.* **143**. 520–525.
- BIACS, P. et al., 1998. Carotenoids, tocopherols and lipoxygenase activity in wheat cultivated in heavy metals contaminated soils. In: *Advances in Plant Lipid Research*. (Eds.: SÁNCHEZ, J. et al.) 527–529. Univ. de Sevilla. Spain.
- BRAUER, H., 1998. *Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, Tokio.
- CHANEY, R. L., 1982. Fate of toxic substances in sludge applied to cropland. In: *Proc. Int. Symp. Land Application of Sewage Sludge*. 259–324. Tokyo. Japan.
- CHANEY, R. L., RYAN, J. A. & BROWN, S. L., 1997. Development of the USEPA limits for chromium in land-applied biosolids and applicability of these limits to tannery byproduct derived fertilizers and other Cr-rich soil amendments. In: *Chromium Environmental Issues*. (Eds.: CANALI et al.) 229–295. Franco Angeli. Italy.
- CSATHÓ P., 1994. A környezet nehézfém-szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. MTA TAKI. Budapest.
- DIEZ, TH. et al., 1992. Schwermetallaufnahme und Austrag von extrem belasteten Böden unter Pflanzenbaulicher Nutzung. *Landw. Jahrbuch*. **60**. 51–71.
- ELEK É. & KÁDÁR I., 1980. Állókultúrák és szántóföldi növények mintavételi módszere. MÉM NAK. Budapest.
- EüM 1985. Az egészségügyi miniszter 8/1985. (X.21.) EüM sz. rendelete az élelmiszerek vegyi szennyeződésének elhárításáról. *Egészségügyi Közlöny*. **20**. 642–644.
- FILEP GY., 1988. *Talajkémia*. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- KÁDÁR I., 2001. Mikroelem-terhelés hatása a borsóra karbonátos csernozjom talajon. I. Termés és ásványi összetétel. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 62–82.
- KÁDÁR I. & PROKISCH J., 2000. Mikroelem-terhelés hatása a burgonya termésére és elemtartalmára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 447–464.
- KÁDÁR I., DAOOD, H. & RADICS L., 2001a. Mikroelem-terhelés hatása a spenótra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 335–352.
- KÁDÁR I., KONCZ J. & RADICS L., 2001b. Mikroelem-terhelés hatása a céklára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 315–334.
- KÁDÁR I., RADICS L. & BANA K-NÉ, 2000. Mikroelem-terhelés hatása a kukoricára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 181–204.
- KÁDÁR I., RADICS L. & DAOOD, H., 2000a. Mikroelem-terhelés hatása a sárgarépa termésére karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 427–446.

- KOVÁCS M. et al., 1993. Heavy metal content in cereals in industrial regions. *Acta Agron. Hung.* **42**. 171–183.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn.* **123**. 223–232.
- LEHOCZKY, É. et al., 1998. Cadmium uptake by lettuce in different soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **29**. 1903–1912.
- LEHOCZKY, É. et al., 1998a. Effect of liming on the heavy metal uptake of lettuce. *Agrokémia és Talajtan.* **47**. 229–234.
- LOCH, J., 1992. Ermittlung optimaler Düngergaben und Nährstoffverhältnisse als Voraussetzung für eine umweltschonende Düngung. 104. VDLUFA Kongressband. 195–198. Göttingen.
- MCGRATH, S. P., CHANG, A. C. & PAGE, A. L., 1994. Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States. *Environ. Reviews.* **2**. 1–11.
- MACHELETT, B., GRÜN, M. & BERGMANN, H., 1996. Die Schwermetallaufnahme der Pflanzen. In: 16. Arbeitstagung Mengen und Spurenelemente. 323–337. Universität. Leipzig.
- NÉMETH, T. et al., 1993. Mobility of some heavy metals in soil–plant system studied on soil monoliths. *Water Sci. Tech.* **28**. 389–398.
- SAUERBECK, D., 1985. Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrarisch-chemischer Sicht. *Materialien zur Umweltforschung*. Kohlhammer Verlag. Stuttgart.
- SIMON L., 1998. Talajszennyeződés, talajtisztítás. GATE Mezőgazdasági Főiskolai Kara. Nyíregyháza.
- VERMES L., 1994. A talajszennyezés néhány kérdése. *Talajvédelem.* **2**. 86–93.

Érkezett: 2001. április 28.

Effect of Microelement Loads on Wheat Grown on Calcareous Chernozem Soil

I. KÁDÁR and H. DAOOD

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest and ²Central Institute for Food Industry Research, Budapest

Summary

The small-plot field experiment set up in spring 1991 (soil characteristics, ground-water depth, the form and level of applied microelement treatments, crop sequence) was described in KÁDÁR et al. (2001). The results of the wheat experiment carried out in the 7th year can be summarized as follows:

- Of the microelements applied 7 years previously 0.5%, 3%, 8%, 11%, 13%, 16%, 18%, 36%, 48%, 52%, 68% and 70% of the Cd, Mo, Hg, Ba, Se, As, Ni, Sr, Cu, Zn, Pb and Cr, resp. could still be detected in NH₄-acetate + EDTA-soluble form in the ploughed soil layer. In the case of Pb and Cd the contamination was clearly indicated by the soil analysis, i.e. soil pollution could be estimated at a later date.

- The maximum doses of As, Cd, Cr and Se proved to be phytotoxic. The toxicity caused by arsenic gradually decreased, while in the case of 270 or 810 kg/ha Se loads, the wheat began to die off shortly after emergence.

- As the soil was poorly supplied with zinc, all the quality parameters measured in the wheat grain were enhanced significantly or tended to improve after Zn fertilization. Cadmium had the opposite effect, causing a deterioration in quality. Wheat grains are poor in carotinoids. The total carotinoids increased significantly after As loads, but dropped to half after Se treatment.

- The maximum concentrations for all the elements were generally recorded in the shoots at heading. The concentrations in the grain yield were more moderate, since the seed is genetically protected against the uptake of toxic elements. Hg, Cr, Cu and Ba loads did not endanger the wheat quality, or its suitability for human or animal consumption. The Hg content in all the plant organs remained below the 0.1 mg/kg detection limit, as did that of Cr in the grain yield. The Cu and Ba accumulation was also moderate, generally doubling in the wheat organs. The Ni and Pb uptake was negligible. At increasing loads, the concentrations of Sr and Zn increased several times, but had little effect on the quality of the wheat.

- The accumulation of Cd was an order of magnitude greater than the accepted limit even at 90 kg/ha load, thus giving cause for concern. Accumulation reached 2 and 3–4 orders of magnitude for Mo and Se, making the plants extremely contaminated. The molybdenate and selenate anion forms remain available on this well-aerated calcareous soil, resulting in hyperaccumulation.

- The specific (1 t grain + by-products) element requirements at harvest, when the wheat leaves have already withered and dropped, amounted to 35 kg N, 7–8 kg K₂O, 9–10 kg P₂O₅, 2 kg Ca and 3 kg Mg, so a reduction was observed chiefly in the specific K content.

– The maximum element uptake of the shoots at heading on treated soil amounted to 1 g Pb, 4–5 g Cr and As, 14 g Ni, 23 g Cd, 50 g Cu, 160 g Ba, 300 g Zn and Al, 400 g Sr and 1.5–2.0 kg Se and Mo. Phytoremediation is not a satisfactory solution for the cleansing of heavily contaminated soil, since under similar conditions 3–4 centuries would be required for the elimination of 810 kg/ha pollution even in the case of the hyperaccumulated elements Mo and Se.

Table 1 Agronomic measures and observations in the winter wheat experiment (Calcareous chernozem soil, Nagyhöröcsök, 1996–1997).

Table 2. Effect of microelement loads on the readily available element content of the ploughed layer (NH₄-acetate + EDTA-soluble, mg/kg, 1997) (Calcareous chernozem soil, Nagyhöröcsök). (1) Element. (2) Loads in spring 1991, kg/ha. (3) LSD_{5%}. (4) Mean. Note: The following mean element concentrations were measured on treated soil, mg/kg air-dry matter.

Table 3. Effect of toxic elements causing yield losses in wheat (Calcareous chernozem soil, Nagyhöröcsök, 1997). (1)–(4): see Table 2. Scoring on A. Apr. 1st at tillering; B. May 15th at heading; C. Jun. 25th at flowering; D Jul. 24th at harvest. E. Shoot, t/ha on May 15th. F. Straw, t/ha on Jul. 24th. G. Grain, t/ha on Jul. 24th. Scoring: 1 = poorly developed, dying stand, 5 = very well developed stand.

Table 4. Effect of treatments causing yield losses on the quality of the wheat grain (Calcareous chernozem soil, Nagyhöröcsök, 1997). (1)–(4): see Table 2. A. α -tocopherol, mg/kg (vitamin E, fat-soluble). B. β -tocopherol, mg/kg. C. α -tocotrienol, mg/kg. D. β -tocotrienol, mg/kg. E. Lutein, mg/kg. F. Total carotinoids, mg/kg. Note: -: the plant stand died.

Table 5. Effect of the treatments on the element content of air-dry wheat, 1997. (1) Plant organ. a) shoot, b) straw, c) grain. (2)–(4): see Table 2. A–L. As the result of As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Sr and Zn loads, resp., mg/kg. Note: ¹: on May 15th, ²: at harvest on Jul. 24th; - the plant stand died. Limit value in flour or fodder, mg/kg dry matter.

Table 6. Element content of air-dry wheat on untreated soil (Calcareous chernozem soil, Nagyhöröcsök, 1997). (1) Element. (2) Units. (3) Shoots on May 15th. (4) Straw on Jul. 24th. (5) Grain on Jul. 24th. Note: Shoot optimum at heading, mg/kg dry matter.

Table 7. Mean and specific (1 t grain and the relevant by-products) element uptake of wheat on untreated soil (Calcareous chernozem soil, Nagyhöröcsök, 1997). (1) Element. (2) Shoots. (3) Straw. (4) Grain. (5) Straw+grain. (6) Specific element uptake.

Table 8. Maximum microelement uptake of wheat on contaminated soil, g/ha (Calcareous chernozem soil, Nagyhöröcsök, 1997). (1) Element. (2) Shoots on May 15th. (3) Straw. (4) Grain. (5) Straw+grain on Jul. 24th.